

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Николайчук Г.П., Таран А.В.

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

В настоящее время наиболее перспективными материалами для создания нового поколения тонкопленочных солнечных элементов признаны полупроводниковое соединение  $\text{CuInSe}_2$  (CIS) и твердые растворы на его основе. Одним из приоритетных направлений изготовления CIS является послойная конденсация в вакууме селенида индия и меди с последующим отжигом двухслойной композиции в атмосфере селена, что представляет собой процесс селенизации исходной пленки.

В данной работе тонкие пленки халькопирита изготавливались методом последовательного осаждения Cu и  $\text{In}_2\text{Se}_3$  с последующей селенизацией двухслойной композиции при различных температурах в вакуумной установке ВУП-5 при  $P = 5 \cdot 10^{-3}$  Па. Для испарения использовались медь чистотой 99,9% и порошок  $\text{In}_2\text{Se}_3$  чистотой 99,999%. Медь испарялась из молибденовой лодочки, а селенид индия из алундового тигля. Двухслойные пленки Cu-In(Se) конденсировались на слюду при температуре подложки  $100^\circ\text{C}$ . Суммарная толщина пленок составляла 50 нм. Исследования пленок были выполнены на электронном микроскопе ЭМВ - 100Л. Пленки получали путем дозированного осаждения меди на слой селенида индия. Изучались твердофазные реакции, происходящие в двухслойной пленочной системе при отжиге, механизм образования соединения  $\text{CuInSe}_2$  и закономерности формирования его структуры.

Установлено, что все пленки после селенизации имеют модулированную структуру, которая формируется за счет диффузии меди в пленку селенида индия. Наблюдались модулированные структуры, образованные как равновесными фазами, принадлежащими псевдобинарному сечению  $\text{Cu}_2\text{Se} - \text{In}_2\text{Se}_3$  трехкомпонентной системы Cu-In-Se, так и метастабильными фазами. В пленках с недостатком меди для формирования стехиометрического соединения  $\text{CuInSe}_2$  модулированные структуры строятся на основе фаз, состав которых описывается химическими формулами  $\text{In}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{CuIn}_5\text{Se}_8$  и  $\text{CuIn}_3\text{Se}_5$  ( $\beta$ -фаза с халькопиритной структурой  $\text{CuInSe}_2$  и упорядоченными вакансиями по меди). В пленках с избытком меди модулированные структуры строятся на основе  $\text{CuIn}_3\text{Se}_5$  и  $\text{CuInSe}_2$  ( $\alpha$ -фаза). Сопряжение фаз в модулированных структурах осуществляется когерентными межфазными границами, содержащими дислокации несоответствия или с помощью двойниковых границ. Наиболее совершенную структуру имеют пленки, состав которых отвечает соотношению  $\text{Cu/In} = 1,2$ . Они состоят из крупных ( $\sim 0,5$  мкм) зерен  $\text{CuInSe}_2$ , содержащих большое количество тонких двойниковых прослоек  $\alpha$ - и  $\beta$ - фаз.